

DERWENT-ACC-NO: 2000-527925
DERWENT-WEEK: 200157
COPYRIGHT 1999 DERWENT INFORMATION LTD

TITLE: Nitride group compound semiconductor element, such as light emitting diode, has a substrate provided with a boron nitride group semiconductor buffer layer and a nitride group compound semiconductor crystal layer

INVENTOR: OH, M S; WON, J H

PATENT-ASSIGNEE: SANSEI DENKI KK[SANSN], SAMSUNG ELECTRICS CO LTD[SMSU],
SAMSUNG ELECTRO MECHANICS CO LTD[SMSU]

PRIORITY-DATA: 1998KR-0057119 (December 22, 1998)

PATENT-FAMILY:

PUB-NO	PUB-DATE	LANGUAGE	PAGES	MAIN-IPC
TW 429553 A	April 11, 2001	N/A	000	H01L 021/86
JP 2000188260	July 4, 2000	N/A	016	H01L 021/205
A	July 15, 2000	N/A	000	H01L 021/205
KR 2000041281				
A				

APPLICATION-DATA:

PUB-NO	APPL-DESCRIPTOR	APPL-NO	APPL-DATE
TW 429553A	N/A	1999TW-0119726	November 11, 1999
JP2000188260A	N/A	1999JP-0332030	November 22, 1999
KR2000041281A	N/A	1998KR-0057119	December 22, 1998

INT-CL (IPC): C30B029/38; H01L021/205 ; H01L021/86 ; H01L033/00

ABSTRACTED-PUB-NO: JP2000188260A

BASIC-ABSTRACT: NOVELTY - A buffer layer (24) comprising boron nitride (BN) compound semiconductor is formed on a substrate (11). A nitride group compound semiconductor crystal layer (34) is arranged on the buffer layer, to form a nitride group compound semiconductor element.

DETAILED DESCRIPTION - INDEPENDENT CLAIMS are also included for the following:

(i) Crystal growth of nitride group compound semiconductor involves forming BN group compound semiconductor buffer layer on the substrate at predetermined temperature followed by epitaxial growth of nitride group semiconductor crystal layer on the buffer layer at a temperature higher than the temperature for buffer layer formation;

(ii) Manufacture of nitride group compound semiconductor element involves epitaxial growth of BN group semiconductor layer to form buffer layer on the substrate, forming n-type nitride group compound semiconductor crystal layer (34) on buffer layer, growing the nitride group semiconductor crystal to form an activated layer (35) and finally forming a p-type nitride group compound semiconductor crystal layer (36) on the activated layer. Thus, a laminate of p-n joint structure of nitride group compound semiconductor crystal layer is formed on buffer layer. A pair of electrodes (41,42) are provided for impressing voltage to the activated layer.

USE - None given.

ADVANTAGE - The buffer layer relieves the lattice mismatching between substrate and nitride group semiconductor crystal layers. Therefore, the crystallinity of nitride group compound semiconductor single crystal layer is improved. Light-emission property, electrical property and durability of the semiconductor light-emitting element such as light-emitting diode, are improved.

DESCRIPTION OF DRAWING(S) - The figure shows a sectional drawing of the structure of a blue light-emitting diode.

Substrate 11

BN group compound buffer layer 24

n-type nitride group compound semiconductor crystal layer 34

Activated layer 35

p-type nitride group compound semiconductor crystal layer 36

Electrodes 41, 42

CHOSEN-DRAWING: Dwg.2/9

TITLE-TERMS:

NITRIDE GROUP COMPOUND SEMICONDUCTOR ELEMENT LIGHT EMIT
DIODE SUBSTRATE BORON
NITRIDE GROUP SEMICONDUCTOR BUFFER LAYER NITRIDE GROUP
COMPOUND SEMICONDUCTOR
CRYSTAL LAYER

DERWENT-CLASS: L03 U11 U12

CPI-CODES: L04-A02; L04-C01B; L04-E03;

EPI-CODES: U11-C01J1; U11-C01J3A; U11-C01J8B; U12-A01A1A; U12-A01A2;

UNLINKED-DERWENT-REGISTRY-NUMBERS: 1247U; 1666U ; 1669U ; 1670U ;
1725U ; 1780U
; 1968U

SECONDARY-ACC-NO:

CPI Secondary Accession Numbers: C2000-157127

Non-CPI Secondary Accession Numbers: N2000-390407

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-188260

(P2000-188260A)

(43) 公開日 平成12年7月4日(2000.7.4)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード(参考)
H 0 1 L 21/205		H 0 1 L 21/205	
C 3 0 B 29/38		C 3 0 B 29/38	A
H 0 1 L 33/00		H 0 1 L 33/00	C

審査請求 有 請求項の数55 O L (全 16 頁)

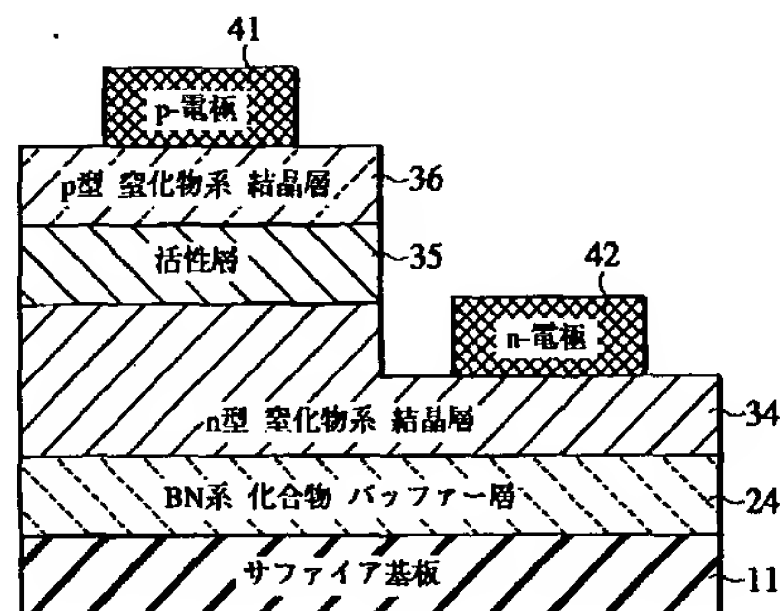
(21) 出願番号	特願平11-332030	(71) 出願人	591003770 三星電機株式会社 大韓民国京畿道水原市八達区梅灘洞314番地
(22) 出願日	平成11年11月22日(1999.11.22)	(72) 発明者	元 鍾 學 大韓民国ソウル市銅雀区新大方洞宇星1次 アパート5-102
(31) 優先権主張番号	1998-57119	(72) 発明者	呉 明 錫 大韓民国京畿道水原市八達区永通洞大字ア パート301-1002
(32) 優先日	平成10年12月22日(1998.12.22)	(74) 代理人	100083806 弁理士 三好 秀和 (外1名)
(33) 優先権主張国	韓国 (K R)		

(54) 【発明の名称】 窒化物系化合物半導体素子、窒化物系化合物半導体の結晶成長方法、及び窒化物系化合物半導体素子の製造方法

(57) 【要約】

【課題】 基板との間の界面における格子不整合が緩和された窒化物系化合物半導体素子を提供する。

【解決手段】 基板11と、基板11上のBN系化合物半導体バッファ層24と、バッファ層24上の窒化物系化合物半導体結晶層(34、35、36)とから構成されている。基板11としては、サファイア或いは炭化珪素(SiC)が採用可能である。BNはサファイアと格子定数差が小さく、これを含むBN系化合物半導体もサファイアとの格子定数差が小さい。従って、BN系化合物半導体バッファ層24が、基板11と半導体結晶層(34、35、36)間における格子不整合を緩和する。この結果、半導体結晶層(34、35、36)の結晶性が向上し、半導体素子の発光特性、電気的特性が向上している。また、信頼性が高く、動作寿命も長い。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板と、

前記基板上に配置されたBN系化合物半導体からなるバッファ層と、

前記バッファ層上に配置された窒化物系化合物半導体結晶層とから少なくともなる窒化物系化合物半導体素子。

【請求項2】 前記バッファ層が、原子配列の規則性の乱れた構造の半導体層であることを特徴とする請求項1に記載の窒化物系化合物半導体素子。

【請求項3】 前記原子配列の規則性の乱れた構造の半導体層が、非晶質層であることを特徴とする請求項2に記載の窒化物系化合物半導体素子。

【請求項4】 前記原子配列の規則性の乱れた構造の半導体層が、多結晶層であることを特徴とする請求項2に記載の窒化物系化合物半導体素子。

【請求項5】 前記原子配列の規則性の乱れた構造の半導体層が、非晶質状態と多結晶状態が混合された層であることを特徴とする請求項2に記載の窒化物系化合物半導体素子。

【請求項6】 前記基板がサファイア基板又は炭化珪素(SiC)基板であることを特徴とする請求項1に記載の窒化物系化合物半導体素子。

【請求項7】 前記バッファ層の厚さが10～60nmであることを特徴とする請求項1に記載の窒化物系化合物半導体素子。

【請求項8】 前記バッファ層の厚さが20～30nmであることを特徴とする請求項7に記載の窒化物系化合物半導体素子。

【請求項9】 前記BN系化合物半導体が、AlN, GaN, InNからなる一群から選ばれる少なくとも一つの化合物半導体とBNとからなる混晶であることを特徴とする請求項1に記載の窒化物系化合物半導体素子。

【請求項10】 前記BN系化合物半導体がGa_{1-x}B_xN (0<x≤1)であることを特徴とする請求項9に記載の窒化物系化合物半導体素子。

【請求項11】 前記BN系化合物半導体がAl_{1-x}B_xN (0<x≤1)であることを特徴とする請求項9に記載の窒化物系化合物半導体素子。

【請求項12】 前記BN系化合物半導体がIn_{1-x}B_xN (0<x≤1)であることを特徴とする請求項9に記載の窒化物系化合物半導体素子。

【請求項13】 前記BN系化合物半導体が((Al_{1-y}Ga_y)_{1-x}B_x)N (0<x≤1, 0≤y≤1)であることを特徴とする請求項9に記載の窒化物系化合物半導体素子。

【請求項14】 前記BN系化合物半導体が((In_{1-y}Ga_y)_{1-x}B_x)N (0<x≤1, 0≤y≤1)であることを特徴とする請求項9に記載の窒化物系化合物半導体素子。

【請求項15】 前記BN系化合物半導体が((In_{1-y}Al_y)_{1-x}B_x)N (0<x≤1, 0≤y≤1)であることを特徴とする請求項9に記載の窒化物系化合物半導体素子。

【請求項16】 前記BN系化合物半導体が((Al_aGa_bIn_c)_{1-x}B_x)N (0<x≤1, a+b+c=1, a, b, c≠0であることを特徴とする請求項9に記載の窒化物系化合物半導体素子。

【請求項17】 前記窒化物系化合物半導体結晶層が、AlN, GaN, InNからなる一群の少なくとも一つの化合物半導体から構成されていることを特徴とする請求項1に記載の窒化物系化合物半導体素子。

【請求項18】 基板を用意する工程と、第1基板温度において、前記基板上にBN系化合物半導体層を成長してバッファ層を形成する工程と、前記第1基板温度より高い第2基板温度において、前記バッファ層上に窒化物系化合物半導体結晶層をエピタキシャル成長する工程とからなる窒化物系化合物半導体の結晶成長方法。

【請求項19】 前記第1基板温度は200～1000℃であることを特徴とする請求項18に記載の窒化物系化合物半導体の結晶成長方法。

【請求項20】 前記第1基板温度は500～600℃であることを特徴とする請求項19に記載の窒化物系化合物半導体の結晶成長方法。

【請求項21】 前記第2基板温度は1000℃以上であることを特徴とする請求項18に記載の窒化物系化合物半導体の結晶成長方法。

【請求項22】 前記窒化物系化合物半導体結晶層がAlN, GaN, InNからなる一群の少なくとも一つの化合物半導体から構成されていることを特徴とする請求項18に記載の窒化物系化合物半導体素子。

【請求項23】 第1固体材料からなる第1層と、前記第1固体材料と格子定数が異なる窒化物系化合物半導体結晶構造を有する第2固体材料からなる第2層と、前記第1層と第2層間に配置された第1層と第2層とを格子整合させるBN系化合物半導体からなるバッファ層とからなる窒化物系化合物半導体素子。

【請求項24】 前記バッファ層が、原子配列の規則性の乱れた構造の半導体層であることを特徴とする請求項23に記載の窒化物系化合物半導体素子。

【請求項25】 前記原子配列の規則性の乱れた構造の半導体層が、非晶質層であることを特徴とする請求項24に記載の窒化物系化合物半導体素子。

【請求項26】 前記原子配列の規則性の乱れた構造の半導体層が、多結晶層であることを特徴とする請求項24に記載の窒化物系化合物半導体素子。

【請求項27】 前記原子配列の規則性の乱れた構造の半導体層が、非晶質状態と多結晶状態とが混合した層であることを特徴とする請求項24に記載の窒化物系化合物半導体素子。

物半導体素子。

【請求項28】 基板と、
前記基板上に配置されたBN系化合物半導体からなるバッファ層と、
前記バッファ層上に配置されたn型窒化物系化合物半導体結晶層と、
前記n型窒化物系化合物半導体結晶層上に配置された窒化物系化合物半導体結晶からなる活性層と、
前記活性層上に配置されたp型窒化物系化合物半導体結晶層と、
前記活性層に電圧を印加するための第1電極及び第2電極とからなる窒化物系化合物半導体素子。

【請求項29】 前記バッファ層が、原子配列の規則性の乱れた構造の半導体層であることを特徴とする請求項28に記載の窒化物系化合物半導体素子。

【請求項30】 前記原子配列の規則性の乱れた構造の半導体層が、非晶質層であることを特徴とする請求項29に記載の窒化物系化合物半導体素子。

【請求項31】 前記原子配列の規則性の乱れた構造の半導体層が、多結晶層であることを特徴とする請求項29に記載の窒化物系化合物半導体素子。

【請求項32】 前記原子配列の規則性の乱れた構造の半導体層が、非晶質状態と多結晶状態が混合した層であることを特徴とする請求項29に記載の窒化物系化合物半導体素子。

【請求項33】 前記バッファ層の厚さが10～60nmであることを特徴とする請求項28に記載の窒化物系化合物半導体素子。

【請求項34】 前記バッファ層の厚さが20～30nmであることを特徴とする請求項33に記載の窒化物系化合物半導体素子。

【請求項35】 前記BN系化合物半導体が、AlN、GaN、InNからなる一群から選ばれる少なくとも一つの化合物半導体とBNとの混晶からなることを特徴とする請求項28に記載の窒化物系化合物半導体素子。

【請求項36】 前記窒化物系化合物半導体結晶層がAlN、GaN、InNからなる一群の少なくとも一つの化合物半導体から構成されていることを特徴とする請求項28に記載の窒化物系化合物半導体素子。

【請求項37】 前記窒化物系化合物半導体結晶層がAlN、GaN、InNからなる一群の少なくとも2つの化合物半導体の混晶から構成されていることを特徴とする請求項28に記載の窒化物系化合物半導体素子。

【請求項38】 前記活性層が、少なくとも一つの量子井戸を含むことを特徴とする請求項28に記載の窒化物系化合物半導体素子。

【請求項39】 前記量子井戸は、前記活性層の窒化物系化合物半導体結晶層の内部において、構成元素の組成比の異なる複数の窒化物系化合物半導体結晶層から構成されていることを特徴とする請求項38に記載の窒化物

系化合物半導体素子。

【請求項40】 前記活性層は、
エネルギー障壁を形成する第1層と、
前記量子井戸を構成すべく、前記第1層とは構成元素の組成比を変え、前記第1層とは禁制帯エネルギーが異なるようになされた第2層とを含むことを特徴とする請求項38に記載の窒化物系化合物半導体素子。

【請求項41】 前記活性層は、
エネルギー障壁を形成する第1層と、
10 所定のポテンシャルプロファイルを形成すべく、前記第1層とは構成元素の組成比を変え、前記第1層とは禁制帯エネルギーが異なるようになされた第2層とを含むことを特徴とする請求項38に記載の窒化物系化合物半導体素子。

【請求項42】 前記基板がサファイア基板であることを特徴とする請求項28に記載の窒化物系化合物半導体素子。

【請求項43】 前記第1電極が、前記n型窒化物系化合物半導体結晶層の上に配置され、前記第2電極が前記p型窒化物系化合物半導体結晶層上に配置されていることを特徴とする請求項42に記載の窒化物系化合物半導体素子。

【請求項44】 前記基板が、炭化珪素(SiC)基板であることを特徴とする請求項28に記載の窒化物系化合物半導体素子。

【請求項45】 前記第1電極が、前記バッファ層と接する前記基板の面とは反対の面に配置され、前記第2電極が、前記p型窒化物系化合物半導体結晶層上に配置されていることを特徴とする請求項44に記載の窒化物系化合物半導体素子。

【請求項46】 基板を用意する工程と、
前記基板上に第1基板温度において、BN系化合物半導体層をエピタキシャル成長しバッファ層を形成する工程と、
前記第1基板温度より高い第2基板温度において前記バッファ層上にn型窒化物系化合物半導体結晶層を形成する工程と、

前記n型窒化物系化合物半導体結晶上に窒化物系化合物半導体結晶を成長させて活性層を形成する工程と、
40 前記活性層上にp型窒化物系化合物半導体結晶層を形成する工程と、
活性層に電圧を印加するための第1電極及び第2電極を形成する工程とから少なくともなる窒化物系化合物半導体素子の製造方法。

【請求項47】 前記第1基板温度は200～1000℃であることを特徴とする請求項46に記載の窒化物系化合物半導体素子の製造方法。

【請求項48】 前記第1基板温度は500～600℃であることを特徴とする請求項47に記載の窒化物系化合物半導体素子の製造方法。

50

【請求項49】 前記第2基板温度は1000℃以上であることを特徴とする請求項46に記載の窒化物系化合物半導体素子の製造方法。

【請求項50】 前記窒化物系化合物半導体結晶層がAlN, GaN, InN化合物半導体中の少なくとも一つの材料から構成されていることを特徴とする請求項46に記載の窒化物系化合物半導体素子の製造方法。

【請求項51】 前記n型窒化物系化合物半導体結晶層を形成する方法は、窒化物系化合物半導体に、C, Si, Ge, Se, S, Sn, Te, Beからなる一群から選ばれる少なくとも一つの不純物元素をドーピングする工程を含むことを特徴とする請求項46に記載の窒化物系化合物半導体素子の製造方法。

【請求項52】 前記p型窒化物系化合物半導体結晶層を形成する方法は、窒化物系化合物半導体に、Mg, Zn, Cd, Be, Ca, Sr, Baからなる一群から選ばれる少なくとも一つの不純物元素をドーピングする工程を含むことを特徴とする請求項46に記載の窒化物系化合物半導体素子の製造方法。

【請求項53】 基板上に配置されたBN系化合物半導体からなるバッファ層と、前記バッファ層上に配置された窒化物系化合物半導体からなるp-n接合構造の積層体と、前記p-n接合構造の積層体に電圧を印加するための第1電極及び第2電極とからなることを特徴とする窒化物系化合物半導体素子。

【請求項54】 基板上に第1基板温度においてBN系化合物半導体層をエピタキシャル成長し、バッファ層を形成する工程と、前記第1基板温度より高い第2基板温度において、前記バッファ層上に、窒化物系化合物半導体からなるp-n接合構造の積層体を形成する工程と、前記p-n接合構造の積層体に電圧を印加するための第1電極及び第2電極を形成する工程とからなることを特徴とする窒化物系化合物半導体素子の製造方法。

【請求項55】 基板上に配置されたBN系化合物半導体からなるバッファ層と、前記バッファ層上に配置され、発光領域を形成する窒化物系化合物半導体結晶層と、前記発光領域に電圧を印加するための第1電極及び第2電極とからなることを特徴とする窒化物系化合物半導体素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は窒化物系化合物半導体素子に関する。更に、この窒化物系化合物半導体素子を製造する方法、及びこの窒化物系化合物半導体素子の製造方法に用いる窒化物系化合物半導体の結晶成長方法に係り、特に、基板(第1固体材料)と窒化物系単結晶(第2固体材料)間にBN系化合物半導体からなるバッ

ファ層(以下において「BN系化合物バッファ層」と略記する。)を形成し、結晶性の優れた窒化物系化合物半導体単結晶層を形成することの可能な窒化物系化合物半導体の結晶成長方法に関する。

【0002】

【従来の技術】最近、短波長領域の光(紫外線～緑色)、特に青色光を発することの出来る半導体発光素子が脚光を浴びている。窒化ガリウム(GaN)、窒化インジウム(InN)、窒化アルミニウム(AlN)等のような窒化物系化合物半導体、及び、これらの窒化物系化合物半導体を一定な比率で混合した混晶からなる3元系、4元系等の窒化物系化合物半導体は、このような波長の光を発光することの出来るエネルギーギャップ(禁制帯幅)を持っている。

【0003】このような窒化物系化合物半導体の結晶成長は、主に有機金属化合物CVD(MOCVD)法を用いる。MOCVD法は主に900～1100℃程度の基板温度において、基板が設置された反応容器内に有機化合物反応ガスを供給し、基板上に窒化物系化合物半導体からなる薄膜をエピタキシャル成長させる方法である。窒化物系化合物半導体の結晶成長に用いる基板としては、サファイア基板や炭化珪素(SiC)基板が知られている。サファイア基板や炭化珪素(SiC)基板を用いる理由は、成長する窒化物系化合物半導体結晶と結晶構造が同一で、比較的格子定数が近いからである。

【0004】しかし、厳密には、窒化物系化合物半導体と格子整合をなす商業的な基板は、存在していない。従って、従来のMOCVD法を用いて上記サファイア基板や炭化珪素(SiC)基板上に窒化物系化合物半導体結晶を成長させた場合には、成長したエピタキシャル層の表面モロロジーが不良である。又、格子不整合によるストレスが生じるために結晶の完全性の高い結晶を得るということは大変難しい。その結果、青色光を発光する半導体発光素子を開発するということは殆ど不可能であった。

【0005】このような問題を解決するため、図9(a)に示したようなサファイア基板11上にGaAlNの低温成長層21を配置し、更にこの上にGa_xAl_{1-x}N結晶層31をエピタキシャル成長した半導体発光素子の構造が提案されている。この半導体発光素子を形成する方法は、通常のGaAlN結晶の成長に用いる基板温度T_{SUB}(約1000～1100℃)より遙かに低い約400～900℃の基板温度T_{SUB}で低温成長層(GaAlN層)21を数十nm成長後、その上にGaAlNエピタキシャル層31を成長させる。この低温成長層21は、サファイア基板11と窒化物系化合物半導体結晶層31間に形成され、窒化物系化合物半導体結晶層31の結晶性を向上させるために用いられる「バッファ層」21と呼ばれる層である。このバッファ層(GaAlNバッファ層)21によりエピタキシャル

層31の表面モホロジー及び、基板とエピタキシャル層31との間の格子整合が向上すると期待された。そしてこのような期待のもとで、短波長領域、特に、青色光の半導体発光素子の開発が進み始めた。

【0006】しかし、図9(a)に示した構造の半導体発光素子においては、バッファ層21の成長条件を厳密に制御する必要がある。特に、バッファ層21を10~50nmの薄い厚さに設定しなければならず、その厚さをサファイア基板11全面に亘って均一に制御する必要があるが、このようなバッファ層21の成長は大変難しい。このため、現実には、その結晶性は、発光ダイオード等の半導体発光素子を製造するところまでは改善されず、図9(a)に示した構造では、発光ダイオードを実用化するためのpn接合を実現することが出来なかった。

【0007】そこで、図9(b)に示したような構造の青色光用半導体発光素子が提案された。この半導体発光素子においては、サファイア基板11上に約400~800℃の温度範囲でGaNバッファ層22を約0.02~0.2μmエピタキシャル成長させた後、GaNバッファ層22の上に、この基板温度より高い900~1150℃の温度範囲においてGa_xAl_{1-x}N結晶層32をエピタキシャル成長させる。この低温成長のバッファ層22により、サファイア基板11と窒化物系結晶層(Ga_xAl_{1-x}N結晶層)32間の格子定数差が縮まりストレスが減少するようになる。このため、高品質の窒化物系化合物半導体結晶を得る見通しが得られた。即ち、発光ダイオード(LED)や半導体レーザのような半導体発光素子構造を実現可能な高品質の窒化物系化合物半導体結晶を得る連続エピタキシャル成長が期待された。そして図9(b)に示した構造は、Ga_xAl_{1-x}Nバッファ層やGa_xAl_{1-x}N窒化物系結晶においても同一に有用であると期待された。

【0008】しかし、図9(b)に示した構造の半導体発光素子にも、現実には格子不整合が存在する。図8に、各材料についてのエネルギーギャップと格子定数との関係が示されている。このグラフを見れば、サファイアは約0.26nm、AlNは約0.31nm、GaNは約0.315nm、InNは約0.35nmの格子定数を有することをが分かる。従って、GaNとサファイアの格子定数の差は約0.055nmである。この程度の格子定数は、実際の半導体発光素子に適用されたとき、基板と成長層間で格子不整合を引き起こすようになり、結局窒化物系化合物半導体からなる単結晶層の結晶性が低下する原因となる。更に、サファイアとAlNの格子定数差も約0.05nm程度であるから、GaNとAlNの混晶であるGa_xAl_{1-x}Nバッファ層を形成しても、格子定数差が顕著であり、窒化物系化合物半導体からなる単結晶層の結晶性が低下する。

【0009】一方、サファイアとInNの格子定数の差

は上記2つの材料における格子定数の差より大きい約0.09nmである。従って、InNバッファ層を形成することも望ましくない。又、AlN、GaN、InNからなる化合物半導体の混晶も、同様に格子定数差が顕著であり、バッファ層として採用出来ないことが分かる。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】本発明は上記の点を勘案してなされたものであって、窒化物系化合物半導体結晶層(第2固体材料)と格子定数が違う材料(第1固体材料)からなるエピタキシャル成長用基板との間の界面における格子不整合が生ずることを防ぐことの出来る窒化物系化合物半導体の結晶成長方法を提供することを目的とする。

【0011】本発明の他の目的は、サファイア基板や炭化珪素(SiC)基板(第1固体材料)等の基板上に窒化物系化合物半導体結晶層(第2固体材料)の成長時に、基板と窒化物系化合物半導体結晶層との格子不整合が生じることを防ぎ、結晶性を向上させることの出来る窒化物系化合物半導体の結晶成長方法を提供することである。

【0012】本発明の更に他の目的は、基板(第1固体材料)との間の界面における格子不整合が有効に防止された多層構造(第2固体材料)を具備した窒化物系化合物半導体素子を提供することを目的とする。

【0013】本発明の更に他の目的は、サファイア基板や炭化珪素(SiC)基板(第1固体材料)等の基板上に窒化物系化合物半導体結晶層(第2固体材料)が配置された構造を具備し、この基板と窒化物系化合物半導体結晶層間の格子不整合が緩和され、窒化物系化合物半導体結晶層の結晶性が高い構造の窒化物系化合物半導体素子を提供することである。

【0014】本発明の更に他の目的は、発光効率が高く、発光寿命の長い窒化物系化合物半導体素子を提供することである。

【0015】本発明の更に他の目的は、エピタキシャル成長用基板との間の界面における格子不整合が生ずることを防ぐことの出来る窒化物系化合物半導体素子の製造方法を提供することである。

【0016】本発明の他の目的は、基板と結晶層に格子不整合が生じることを防いで窒化物系化合物半導体からなる単結晶層の結晶性を向上させ、信頼性の高い窒化物系化合物半導体素子の製造方法を提供することである。

【0017】本発明の更に他の目的は、発光効率が高く、発光寿命の長い窒化物系化合物半導体素子の製造方法を提供することである。

【0018】

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するため、本発明の第1の特徴に係る窒化物系化合物半導体素子は、基板と、この基板上に配置されたBN系化合物半

導体からなるバッファ層と、このバッファ層上に配置された窒化物系化合物半導体結晶層とから少なくとも構成されている。基板としては、サファイア基板或いは炭化珪素(SiC)基板等が採用可能である。

【0019】本発明の第1の特徴に係る窒化物系化合物半導体素子によれば、格子定数が異なる材料からなる基板上にBN系化合物半導体からなるバッファ層を具備しているため、基板と窒化物系化合物半導体単結晶層の格子不整合が緩和し、窒化物系化合物半導体単結晶層の結晶性が高い。そして、結晶性の向上によりLEDのような半導体発光素子を製造したとき、発光特性及び電気的特性が向上する。又、窒化物系化合物半導体単結晶層の結晶性が向上しているため、窒化物系化合物半導体素子の信頼性、及び動作寿命が大幅に増加する。

【0020】本発明の第1の特徴に係る窒化物系化合物半導体素子において、バッファ層は、原子配列の規則性の乱れた構造の半導体層であることが好ましい。「原子配列の規則性の乱れた構造」とは、非晶質構造、若しくは結晶粒界が小さい多結晶構造、或いはこれらの混合状態からなる構造等の「非単結晶状態」の構造を意味する。非晶質構造が、原子配列の規則性の乱れた構造であることの説明は不用であろう。多結晶状態の半導体層は、或るグレインの範囲内では、原子配列の規則性が保たれているが、マクロに見れば規則性が乱れているので、本発明の「原子配列の規則性の乱れた構造」に該当する。バッファ層の厚さは、10~60nm程度で良く、より好ましくは、20~30nm程度に選定すれば良い。

【0021】本発明の第1の特徴に係る窒化物系化合物半導体素子の基板上に配置するBN系化合物バッファ層の例としては、 $Ga_{1-x}B_xN$ ($0 < x \leq 1$)、 $Al_{1-x}B_xN$ ($0 < x \leq 1$)、 $In_{1-x}B_xN$ ($0 < x \leq 1$)、 $(Al_{1-y}Ga_y)_{1-x}B_xN$ ($0 < x \leq 1, 0 \leq y \leq 1$)、 $(In_{1-y}Ga_y)_{1-x}B_xN$ ($0 < x \leq 1, 0 \leq y \leq 1$)、 $(In_{1-y}Al_y)_{1-x}B_xN$ ($0 < x \leq 1, 0 \leq y \leq 1$)、 $(Al_{1-y}In_y)_{1-x}B_xN$ ($0 < x \leq 1, 0 \leq y \leq 1$)又は $(Al_aGa_bIn_c)_{1-x}B_xN$ ($0 < x \leq 1, a+b+c=1, a, b, c \neq 0$)等が使用可能である。又、窒化物系化合物半導体結晶層はAlN、GaN、InN化合物半導体等が代表的な例である。

【0022】更に、本発明の第2の特徴に係る窒化物系化合物半導体の結晶成長方法は、(イ)基板を用意する工程と、(ロ)第1基板温度において、基板上にBN系化合物半導体層を成長してバッファ層を形成する工程と、(ハ)第1基板温度より高い第2基板温度において、バッファ層上に窒化物系化合物半導体結晶層をエピタキシャル成長する工程とから少なくとも構成されている。

【0023】本発明の第2の特徴に係る窒化物系化合物

半導体の結晶成長方法によれば、第1基板温度において基板上にBN系化合物バッファ層を形成しているため、第2基板温度において窒化物系化合物半導体単結晶層をエピタキシャル成長する場合、基板と窒化物系化合物半導体単結晶層の格子不整合を減少させ、窒化物系化合物半導体単結晶層の結晶性を向上させることが出来る。

【0024】BN系化合物半導体のバッファ層は、約200~1100℃の第1基板温度、望ましくは約500~600℃の第1基板温度において約1~100nmの厚み、好ましくは約10~60nmの厚み、更に好ましくは約20~30nmの厚さでエピタキシャル成長すれば良い。低温の第1基板温度で成長することにより、BN系化合物半導体のバッファ層は非晶質状態、若しくはグレインの小さな多結晶状態になる。或いは、約500~600℃程度の第1基板温度において成長したBN系化合物半導体のバッファ層内には、非晶質状態と結晶粒界の小さい多結晶状態が混在している。非晶質状態或いは多結晶状態のいずれであっても、バッファ層としての役割を果たすには何等の問題がない。そして、窒化物系化合物半導体結晶層はこのバッファ層形成時の第1基板温度より高い約1000℃以上の第2基板温度でエピタキシャル成長すれば良い。第2基板温度まで、基板温度を上昇することにより、非晶質状態のBN系化合物半導体のバッファ層は、部分的に結晶化が進行する。窒化物系化合物半導体結晶層とバッファ層との界面には多結晶層が生成され、結晶性の高い窒化物系化合物半導体結晶層を得ることが出来る。バッファ層の非晶質状態から直接窒化物系化合物半導体結晶層を成長させる場合にも、近距離秩序だけを有する非晶質状態のバッファ層と単結晶状態の窒化物系化合物半導体結晶層間に格子不整合が生じないために結晶性の高い窒化物系化合物半導体結晶層を得ることが出来る。

【0025】本発明の第2の特徴に係る窒化物系化合物半導体の結晶成長方法において、窒化物系化合物半導体結晶層としては、AlN、GaN、InN等が採用可能である。

【0026】更に、本発明の第3の特徴に係る窒化物系化合物半導体素子は、第1固体材料からなる第1層と、この第1固体材料と格子定数が異なる窒化物系化合物半導体結晶構造を有する第2固体材料からなる第2層と、第1層と第2層間に配置された第1層と第2層とを格子整合させるBN系化合物半導体からなるバッファ層とから構成されている。第1固体材料としては、サファイア又は炭化珪素(SiC)等の固体材料(物質)が好適である。

【0027】本発明の第3の特徴に係る窒化物系化合物半導体素子によれば、第2固体材料とは、格子定数の異なる第1固体材料からなる基板上に、BN系化合物半導体からなるバッファ層を具備しているため、第1固体材料と第2固体材料(窒化物系化合物半導体結晶)間の

格子不整合が緩和され、第2固体材料（窒化物系化合物半導体結晶）の結晶性が高い。そして、結晶性の向上によりLEDのような半導体発光素子を製造したとき、発光特性及び電気的特性が向上する。又、第2固体材料（窒化物系化合物半導体結晶）の結晶性が向上しているの

【0028】更に、本発明の第4の特徴に係る窒化物系化合物半導体素子は、基板と、基板上に配置されたBN系化合物半導体からなるバッファ層と、バッファ層上に配置されたn型窒化物系化合物半導体結晶層と、n型窒化物系化合物半導体結晶層上に配置された窒化物系化合物半導体結晶からなる活性層と、活性層上に配置されたp型窒化物系化合物半導体結晶層と、活性層に電圧を印加するための第1電極及び第2電極とから構成されている。基板としては、サファイア基板又は炭化珪素（SiC）基板が好適である。活性層は、故意には不純物が添加（ドーピング）されていない真性窒化物系化合物半導体結晶からなり、動作電圧が印加されることにより発光する。ここで、「窒化物系化合物半導体素子」としては、LED、半導体レーザ、トランジスタ等が適用可能である。LEDや半導体レーザにおいては、「第1電極」とは、アノード電極（p-電極）又は、カソード電極（n-電極）のいずれか一方である。「第2電極」とは、LEDや半導体レーザにおいては、上記第1電極とはならないアノード電極（p-電極）又は、カソード電極（n-電極）のいずれか一方ということになる。本発明の「窒化物系化合物半導体素子」が、バイポーラトランジスタ（BJT）であれば、「第1電極」とは、エミッタ電極又はコレクタ電極のいずれか一方、「第2電極」とは、上記第1電極とはならないエミッタ電極又はコレクタ電極域のいずれか一方である。本発明の「窒化物系化合物半導体素子」が、HEMT、MESFET、SITであれば、「第1電極」とは、ソース電極又はドレイン電極のいずれか一方、「第2電極」とは、上記第1電極とはならないソース電極又はドレイン電極のいずれか一方である。

【0029】本発明の第4の特徴に係る窒化物系化合物半導体素子によれば、サファイア基板や炭化珪素（SiC）基板のような格子定数が異なる材料からなる基板上にBN系化合物バッファ層を具備しているの

【0030】本発明の第4の特徴に係る窒化物系化合物半導体素子において、バッファ層は、原子配列の規則性の乱れた構造の半導体層であることが好ましい。「原子配列の規則性の乱れた構造」とは、第1の特徴において説明したように、非晶質構造、若しくは結晶粒界が小さい多結晶構造、或いはこれらの混合状態からなる構造等の「非単結晶状態」の構造を意味する。このバッファ層の厚さは、10～60nm、好ましくは、20～30nm程度に選定することが可能である。バッファ層を形成するBN系化合物半導体は、例えば、AlN、GaN、InN等の化合物半導体とBNとの混晶から構成することが可能である。

【0031】n型窒化物系化合物半導体結晶層又はp型窒化物系化合物半導体結晶層は、n型不純物元素又はp型不純物元素がドーピングされたAlN、GaN、InN化合物半導体等で、真性窒化物系化合物半導体結晶層はAlN、GaN、InN等の化合物半導体結晶で構成することが可能である。又、n型窒化物系化合物半導体結晶層、p型窒化物系化合物半導体結晶層、及び真性窒化物系化合物半導体結晶層は、AlN、GaN、InN等からなる混晶、即ち、これらを含む3元系若しくは4元系の窒化物系化合物半導体結晶層で構成することも可能である。活性層は少なくとも一つの量子井戸（QW）を含むように構成されていてもかまわない。量子井戸（QW）は、隣接する窒化物系化合物半導体結晶層のそれぞれを構成する元素の組成比を変化させることによりその禁制帯エネルギーを調整し、禁制帯エネルギーが異なる層の接合により、ヘテロ接合を構成して形成することが可能である。あるいは、エネルギー障壁を形成する第1層と、第1層とは構成元素の組成比を変えた第2層とで、所定のポテンシャルプロファイルを形成すべくヘテロ接合を構成しても良い。

【0032】n-電極は、基板が絶縁体のサファイア基板からなる場合は、一部が取り除かれたn型窒化物系化合物半導体層上に配置される。一方、基板が導体であるSiCからなる場合には、n-電極は基板の裏面に形成出来る。

【0033】更に、本発明の第5の特徴に係る窒化物系化合物半導体素子の製造方法は、（イ）基板を用意する工程と、（ロ）基板上に第1基板温度において、BN系化合物半導体層をエピタキシャル成長し、バッファ層を形成する工程と、（ハ）第1基板温度より高い第2基板温度においてバッファ層上にn型窒化物系化合物半導体結晶層を形成する工程と、（ニ）n型窒化物系化合物半導体結晶上に窒化物系化合物半導体結晶を成長させて活性層を形成する工程と、（ホ）活性層上にp型窒化物系化合物半導体結晶層を形成する工程と、（ヘ）活性層に電圧を印加するための第1電極及び第2電極を形成する工程とから少なくとも構成されている。

【0034】本発明の第5の特徴に係る窒化物系化合物

半導体素子の製造方法によれば、200～1000℃程度の低温の第1基板温度で成長することにより、BN系化合物半導体のバッファ層は非晶質状態、若しくはグレインの小さな多結晶状態になる。或いは、第1基板温度において成長したBN系化合物半導体のバッファ層内には、非晶質状態と結晶粒界の小さい多結晶状態が混在している。第1基板温度は、500～600℃がより好ましい。そして、n型窒化物系化合物半導体結晶層を、このバッファ層形成時の第1基板温度より高い1000℃以上の第2基板温度でエピタキシャル成長することにより、非晶質状態のBN系化合物半導体のバッファ層は、部分的に結晶化が進行する。n型窒化物系化合物半導体結晶層とバッファ層との界面には多結晶層が生成され、結晶性の高い窒化物系化合物半導体結晶層を得ることが出来る。バッファ層の非晶質状態から直接n型窒化物系化合物半導体結晶層を成長させる場合にも、近距離秩序だけを有する非晶質状態のバッファ層と単結晶状態のn型窒化物系化合物半導体結晶層間に格子不整合が生じないために結晶性の高い窒化物系化合物半導体結晶層を得ることが出来る。従って、その上の活性層及びp型窒化物系化合物半導体結晶層の高品位な結晶性を維持しながら、窒化物系化合物半導体素子を製造することが可能である。このため、LEDのような半導体発光素子を、発光特性及び電気的特性が向上させながら製造することが可能である。更に、n型窒化物系化合物半導体結晶層、活性層及びp型窒化物系化合物半導体結晶層のそれぞれの結晶結晶性が向上するので、信頼性が高くしかも動作寿命が長い半導体素子を製造可能である。

【0035】本発明の第5の特徴に係る窒化物系化合物半導体素子の窒化物系化合物半導体結晶層は、AlN、GaN、InN等を採用することが可能であり、これらの混晶からなる3元系、4元系の化合物半導体結晶層でもかまわない。n型窒化物系化合物半導体結晶層は、窒化物系化合物半導体に、C、Si、Ge、Se、S、Sn、Te、Be等の不純物元素をドーピングすれば良い。又、p型窒化物系化合物半導体結晶層は、窒化物系化合物半導体に、Mg、Zn、Cd、Be、Ca、Sr、Ba等の不純物元素をドーピングすれば良い。

【0036】更に、本発明の第6の特徴に係る窒化物系化合物半導体素子は、基板上に配置されたBN系化合物半導体からなるバッファ層と、バッファ層上に配置された窒化物系化合物半導体からなるp-n接合構造の積層体と、p-n接合構造の積層体に電圧を印加するための第1電極及び第2電極とから少なくとも構成されている。

【0037】本発明の第6の特徴に係る窒化物系化合物半導体素子は、サファイア基板や炭化珪素(SiC)基板のような格子定数が異なる材料からなる基板上にBN系化合物バッファ層を具備しているので、窒化物系化

合物半導体からなるp-n接合構造の積層体をエピタキシャル成長する場合、基板との格子不整合が緩和され、p-n接合構造の積層体の結晶の完全性が高く、結晶欠陥等が少なく、表面モロロジーも良好である。このため、p-n接合構造の積層体により、LEDのような半導体発光素子を構成したとき、発光効率が高く、電気的特性も良好である。又、p-n接合構造の積層体の結晶性が良好であるため、信頼性が高く、動作寿命も長い。

【0038】更に、本発明の第7の特徴に係る窒化物系化合物半導体素子の製造方法は、(イ)基板上に第1基板温度においてBN系化合物半導体層をエピタキシャル成長し、バッファ層を形成する工程と、(ロ)第1基板温度より高い第2基板温度において、バッファ層上に、窒化物系化合物半導体からなるp-n接合構造の積層体を形成する工程と、(ハ)p-n接合構造の積層体に電圧を印加するための第1電極及び第2電極を形成する工程とから少なくとも構成されている。第2の特徴で述べたように、第1基板温度は、約200～1100℃、好ましくは、約500～600℃であり、第2基板温度は、約1000℃以上の温度である。低温の第1基板温度で成長することにより、BN系化合物半導体のバッファ層は非晶質状態、多結晶状態、或いは、非晶質状態と多結晶状態が混在した構造となる。高温の第2基板温度まで、基板温度を上昇することにより、非晶質状態のBN系化合物半導体のバッファ層は、部分的に結晶化が進行する。窒化物系化合物半導体結晶層とバッファ層との界面には多結晶層が生成され、結晶性の高い窒化物系化合物半導体結晶層からなるp-n接合構造を得ることが出来る。バッファ層の非晶質状態から直接窒化物系化合物半導体結晶層を成長させる場合にも、近距離秩序だけを有する非晶質状態のバッファ層と単結晶状態の窒化物系化合物半導体結晶層間に格子不整合が生じないために結晶性の高い窒化物系化合物半導体結晶層からなるp-n接合構造を得ることが出来る。

【0039】本発明の第7の特徴に係る窒化物系化合物半導体素子の製造方法によれば、p-n接合構造の積層体の結晶性が向上するので、半導体発光素子を製造したとき、発光特性及び電気的特性が向上する。更に、p-n接合構造の結晶性が向上するので、窒化物系化合物半導体素子の信頼性及び動作寿命が大幅に増加する。

【0040】更に、本発明の第8の特徴に係る窒化物系化合物半導体素子は、基板上に配置されたBN系化合物半導体からなるバッファ層と、バッファ層上に配置され、発光領域を形成する窒化物系化合物半導体結晶層と、発光領域に電圧を印加するための第1電極及び第2電極とから少なくとも構成されている。

【0041】本発明の第8の特徴に係る窒化物系化合物半導体素子は、サファイア基板や炭化珪素(SiC)基板のような格子定数が異なる材料からなる基板上にBN系化合物バッファ層を具備しているので、基板と窒化

物系バッファ層間の格子不整合が緩和され、発光領域の結晶性が良好である。従って、半導体発光素子の発光特性及び電気的特性が向上する。又、発光領域の結晶の完全性が高いので、窒化物系化合物半導体素子の信頼性が高く、その動作寿命も長い。

【0042】

【発明の実施の形態】本発明の最も基本的な目的は、窒化物系化合物半導体を窒化物系化合物半導体とは格子定数が異なる材料からなるエピタキシャル成長用基板の表面に、結晶の完全性の高い単結晶をエピタキシャル成長する方法を提供することである。基板材料と化合物半導体エピタキシャル成長層間の格子定数の差は界面における格子不整合を引き起こす。このため高品質の窒化物系化合物半導体結晶をエピタキシャル成長するためには、基板材料と化合物半導体エピタキシャル成長層間の格子定数を整合させるバッファ層を形成すべきである。

【0043】本発明においては、格子整合のため従来のバッファ層として使用していた化合物半導体の代わりにBN系化合物半導体を用いる。BNの格子定数は図8に図示したように約0.24nmである。従って、基板として主に用いられるサファイアとは約0.02nmの格子定数差が生じる。この値は、従来のバッファ層として用いられていた化合物半導体とサファイア基板との格子定数差に比して非常に小さい。従って、BNとAlNとの化合物（混晶）であるAlBN、BNとGaNとの混晶であるGaAlN、及びBNとInNとの混晶であるInBN等からなる3元系化合物半導体はすべて、サファイア基板と小さな格子定数差だけを有する。

【0044】更に、AlN、GaN、InNの内から選ばれた2種以上の化合物半導体の混晶からなる3元系又は4元系の化合物半導体とBNの混晶からなる4元系又は5元系の化合物半導体でバッファ層を形成しても、従来用いられていた化合物半導体のバッファ層に比して格子定数差が小さい。従って、これらの4元系以上の化合物半導体を用いても、基板とエピタキシャル成長層間の格子不整合を大幅に減少させることが可能である。

【0045】図1に示す断面構造の窒化物系化合物半導体素子を参照しながら、本発明の実施の形態について説明する。サファイア基板11上に配置されたバッファ層23は $(Ga_{1-x}B_x)N$ の3元系化合物半導体から構成されており、その上には単結晶のGaN結晶層33が成長されている。

【0046】図1に示す構造の窒化物系化合物半導体素子を形成する方法は、第1基板温度 T_{SUB1} 及び第2基板温度 T_{SUB2} においての2段階の温度プロファイルを用いて成長させる方法を採用している。即ち、まず低温の第1基板温度 T_{SUB1} においてサファイア基板11上に $(Ga_{1-x}B_x)N$ バッファ層23をエピタキシャル成長させる。この後、更に、バッファ層23上に第1基板温度 T_{SUB1} より高い第2基板温度 T_{SUB2} においてGa

N結晶層33を成長させる。 $(Ga_{1-x}B_x)N$ バッファ層23は約1~100nmの厚さに形成することが可能であり、約10~60nmの厚さが好ましく、更に20~30nmの厚さが更に好ましい。更に、 $(Ga_{1-x}B_x)N$ バッファ層23を成長させるための第1基板温度 T_{SUB1} は約200~1000℃温度である。特に、約500~600℃の基板温度 T_{SUB1} が好ましい。

【0047】 $(Ga_{1-x}B_x)N$ バッファ層23と窒化物系化合物半導体結晶層33は、一般的な半導体素子成長方法によりエピタキシャル成長可能である。この一般的な半導体素子成長方法を応用して、本発明の窒化物系化合物半導体の結晶成長方法を説明すれば次の通りである。

【0048】(イ) 先ず、約500~600℃の低温の基板温度 T_{SUB} において、 $(Ga_{1-x}B_x)N$ 層を成長させれば、この $(Ga_{1-x}B_x)N$ 層は非晶質状態となる。このような非晶質状態の $(Ga_{1-x}B_x)N$ バッファ層23は、基板温度 T_{SUB} を約1000℃以上に徐々に上昇させることにより部分的に結晶化する。具体的には、反応容器内にサファイア基板11を導入・設置し、マスフローコントローラ(MFC)等で制御しながら、III族原料ガス（ソースガス）として有機金属化合物ガス（MOガス）、V族原料ガスとしてアンモニア(NH_3)ガスを、キャリアガスと共に、サファイア基板11の表面に供給して、所望の結晶層をエピタキシャル成長させる。この場合、先ず、硼素(B)が添加された原料ガス（ソースガス）をサファイア基板11上に供給し、基板温度 T_{SUB} を500~600℃まで上昇させる。そして、500~600℃の基板温度 T_{SUB} を保ってサファイア基板11上に $(Ga_{1-x}B_x)N$ からなる化合物のバッファ層23を形成する。

【0049】(ロ) バッファ層23を成長後、反応容器内の温度を徐々に上昇させ約1000℃以上の基板温度 T_{SUB} で、硼素(B)が添加されていないIII族原料ガス（ソースガス）としての有機金属化合物ガス（MOガス）、V族原料ガスとしてのアンモニア(NH_3)ガスを、キャリアガスと共に、サファイア基板11の表面に供給し、GaN結晶層33をエピタキシャル成長させる。基板温度 T_{SUB} が上昇することにより非晶質状態の $(Ga_{1-x}B_x)N$ バッファ層23は、部分的に結晶化が進行する。基板温度 T_{SUB} の上昇は $(Ga_{1-x}B_x)N$ バッファ層23の構成元素（原子）に活性化エネルギーを与え、その活性化エネルギーにより各原子が格子点に移動され、結晶化が進行する。但し、実際には、このような結晶化の過程は完全な単結晶状態を生成することは出来ない。結晶化が局部的に進行するために、バッファ層23は結晶粒界が小さい多結晶構造となる。この多結晶は、バッファ層23上にGaN結晶層33を形成するとき種結晶として作用する。即ち、約1000℃以上の基板温度 T_{SUB} でGaNをエピタキシャル成長す

るときには、種結晶からGa_{1-x}B_xN単結晶層が均一に形成される。

【0050】約200～1000℃の基板温度T_{SUB}、好ましくは約500～600℃の基板温度T_{SUB}で成長した(Ga_{1-x}B_x)Nバッファ層23は、非晶質状態ではなくグレインの小さな多結晶状態になることもある。非晶質状態となるか、或いは多結晶状態となるかは、(Ga_{1-x}B_x)N層の成長条件に依存するのであるが、いずれであっても、バッファ層23としての役割を果たすには何等の問題がない。非晶質状態の(Ga_{1-x}B_x)Nバッファ層23を成長した場合にも、その後、Ga_{1-x}B_xN結晶層33を成長させるため基板温度T_{SUB}を上昇させれば、Ga_{1-x}B_xN結晶層33との界面をなす(Ga_{1-x}B_x)Nバッファ層23の表面には多結晶層が生成されるために、結晶性の高いGa_{1-x}B_xN結晶層33を得ることが出来る。(Ga_{1-x}B_x)Nバッファ層23の非晶質状態から直接Ga_{1-x}B_xN結晶層33を成長させる場合にも、近距離秩序だけを有する非晶質状態の(Ga_{1-x}B_x)Nバッファ層23と単結晶状態のGa_{1-x}B_xN結晶層33間に格子不整合が生じないために結晶性の高いGa_{1-x}B_xN結晶層33を得ることが出来る。

【0051】なお、約500～600℃程度の低温の基板温度T_{SUB}において成長した(Ga_{1-x}B_x)Nバッファ層23内には、非晶質状態と結晶粒界の小さい多結晶状態が混在している。このような非晶質状態や多結晶状態のバッファ層23は、その上に均一な単結晶層のエピタキシャル成長を可能にする。更にいえば、結晶の完全性の高い単結晶層をエピタキシャル成長させるバッファ層23は、界面において単結晶層と格子整合しなければならぬが、非晶質状態や多結晶状態のバッファ層23は単結晶層と良好な格子整合をなす。そのため、本発明のバッファ層は、「原子配列の規則性の乱れた構造の半導体層」、即ち、非晶質状態の半導体層や多結晶状態の半導体層である。多結晶状態の半導体層は、或るグレインの範囲内では、原子配列の規則性が保たれているが、マクロに見れば規則性が乱れている。

これを表現すれば「非-単結晶状態」の半導体層と言う*

*ことが出来る。

【0052】本発明の実施の形態においては、従来バッファ層として用いられていた化合物半導体に、BNを添加した混晶である3元系以上の化合物半導体をバッファ層として用いている。このようなBNを含む3元系以上の化合物半導体からなるバッファ層(以下において「BN系化合物バッファ層」と略記する。)を用いることにより、BN系化合物バッファ層と、この上にエピタキシャル成長する単結晶層との格子不整合が更に減少する。図8に示したような通り、従来バッファ層として主に用いられていた化合物半導体、例えば、AlN、Ga_{1-x}B_xN、InNのような化合物半導体とサファイア基板間の格子定数差に比して、BNとサファイア基板間の格子定数差が遙かに小さい。このためBNを混晶として含むBN系化合物半導体からなるバッファ層と、その上にエピタキシャル成長する単結晶層間の格子定数差が減少され、格子不整合が減少する。その結果、結晶の完全性の高い結晶層を形成することが出来るようになる。

【0053】更に、BNを混晶として含むBN系化合物半導体の使用は、バッファ層の軟性の増加を引き起こす。六方晶体やウルツ結晶構造を有するBNは、他の材料に比し、軟性が大きく、不純物ドーピングが容易であるという特性を有する。従って、バッファ層として従来用いられていた化合物半導体に、一定比率のBNを添加して3元系、4元系等の混晶を構成すれば、化合物半導体の軟性が増加する。この軟性の増加により、基板と、この上にエピタキシャル成長する単結晶層との格子定数の差を更に減少させるようになる。従って、結晶学的に更に優れた単結晶層を得ることが出来るようになる。

【0054】表1には、従来のGa_{1-x}B_xNバッファ層と本発明の(Ga_{1-x}B_x)Nバッファ層を用いた場合の、バッファ層の上にエピタキシャル成長したGa_{1-x}B_xN単結晶層の特性の比較を示した。

【0055】

【表1】

バッファ層	GaNバッファ層	Ga _{1-x} B _x Nバッファ層
基板温度(℃)	550	550
成長厚さ(nm)	30	30
移動度(cm ² /Vs)	304	340
DXRDのHMFM(arcsec)	550	400
電子密度(cm ⁻³)	3.2×10 ¹⁷	2.46×10 ¹⁷

表1の比較において、GaNバッファ層とGa_{1-x}B_xNバッファ層(x=0.05)はすべて約550℃において約30nmの厚さに成長している。そして、バ

*ファー層上のGaN結晶層は、n型単結晶層であり、2μmの厚さにエピタキシャル成長している。

【0056】表1に示すように、GaNバッファ層上

にエピタキシャル成長したGa_{1-x}B_xN単結晶層は、約304 m²/Vs程度の電子移動度を有するのに対し、Ga_{1-x}B_xNバッファ層上に配置されたGa_{1-x}B_xN結晶層は、約340 m²/Vsの電子移動度を有する。即ち、Ga_{1-x}B_xNバッファ層上にGa_{1-x}B_xN結晶層を形成した場合の方が電子移動度が増加している。このような電子移動度の増加は、Ga_{1-x}B_xN結晶層内の欠陥の減少によるものであって、電子がGa_{1-x}B_xN結晶層内を走行するとき、欠陥による散乱現象が減少するためである。

【0057】従って、半導体レーザやLEDのような半導体発光素子を製造した場合、バッファ層上にエピタキシャル成長したn型Ga_{1-x}B_xN結晶層及びp型Ga_{1-x}B_xN結晶層における電子の移動度が向上し、半導体発光素子の発光効率が向上する。

【0058】更に、DXRDで測定した半値全幅(FWHM)

元素の組成(モル%)	0	5	10	100
移動度(cm ² /Vs)	304	340	335	270
FWHM(arcsec)	550	400	410	800
電子濃度(cm ⁻³)	3.2×10 ¹⁷	2.46×10 ¹⁷	2.6×10 ¹⁷	3.8×10 ¹⁷

表2、図6及び図7に示したように、元素(B)が添加されなかった場合に比して一定量、即ち、元素(B)の組成比が約5～10モル%のGa_{1-x}B_xNにおいて(x=0.05～0.1に該当)、Ga_{1-x}B_xN結晶層の電子移動度、半値全幅(FWHM)及び電子濃度特性が向上している。更に、元素(B)の組成比が約5～10モル%以上に増加すると上記特性は低下することが分かる。

【0061】バッファ層を成長する基板としては、サファイア基板11の代わりに炭化珪素(SiC)基板を使用することも可能である。炭化珪素(SiC)基板はそれ自体が半導体材料からなっているために動作電圧が印加される場合、電流の導通が可能となって本発明の窒化物系化合物半導体素子を半導体発光素子に適用する場合、有用に用いることが出来る。しかし、炭化珪素(SiC)基板もサファイア基板11と同じく窒化物系単結晶がその上に形成されるとき、その界面において格子不整合によるストレスが生ずるため、バッファ層が必要となる。

【0062】本発明のバッファ層はGa_{1-x}B_xN以外に他の化合物半導体も可能である。図8に図示したように、BN自体がサファイア基板と小さな格子定数差を有するために、従来のバッファ層として用いられていた化合物半導体、即ち、AlN、Ga_{1-x}B_xN及びInNとBNとの混晶からなる3元系等の化合物半導体も、やはり、サファイア基板上にエピタキシャル成長させる単結晶層の結晶性を向上させることが可能な良好なバッファ層である。

【0063】即ち、Ga_{1-x}B_xN(0<x≤1)、Al

*M)は550秒(arcsec)から約400秒(arcsec)に減少した。従って、Ga_{1-x}B_xN結晶層の格子点における原子の変移が減少し、それはGa_{1-x}B_xN結晶層の結晶性が向上したことを意味する。そして、電子密度は3.2×10¹⁷ cm⁻³から2.46×10¹⁷ cm⁻³に減少した。

【0059】表2には元素(B)の組成比の異なるGa_{1-x}B_xNバッファ層を成長したときの、Ga_{1-x}B_xN結晶層の電子の移動度、半値全幅(FWHM)、及び電子密度特性が示され、図6(a)及び(b)には、表2に対応した電子の移動度及び半値全幅(FWHM)の元素(B)の組成比依存性についてのグラフが示されている。図7には、表2に示した電子密度の元素(B)の組成比依存性についてのグラフが示されている。

【0060】

【表2】

※I_{1-x}B_xN(0<x≤1)、InI_{1-x}B_xN(0<x≤1)、((Al_{1-y}Ga_y)_{1-x}B_x)N(0<x≤1, 0≤y≤1)、((In_{1-y}Ga_y)_{1-x}B_x)N(0<x≤1, 0≤y≤1)、((Al_aGa_bIn_c)_{1-x}B_x)N(0<x<1, a+b+c=1, 但しA, B, Cは0でない)等のような3元系、4元系若しくは5元系以上のBN系化合物半導体は、いずれも本発明のバッファ層として使用可能である。

【0064】本発明のバッファ層は、上記の3元系、4元系若しくは5元系以上のBN系化合物半導体の成分元素(構成元素)を含む反応ガス(原料ガス)を用いて、第1基板温度T_{SUB1}において成長すれば良い。例えば、先ず、約200～1000℃、好ましくは約500～600℃の第1基板温度T_{SUB1}において、1～100nm、好ましくは約10～60nm、更に好ましくは約20～30nmの厚さに成長する。

【0065】そして、その後、バッファ層の上に第1基板温度T_{SUB1}より高い第2基板温度T_{SUB2}において、窒化物系化合物半導体単結晶層をエピタキシャル成長すれば良い。窒化物系化合物半導体単結晶層は、窒化物系化合物半導体からなる如何なる材料でもエピタキシャル成長可能である。即ち、InN、Ga_{1-x}B_xN、AlN、In_{1-x}Ga_xN、Al_{1-x}Ga_xN、AlIn_{1-x}Ga_xN等のような窒化物系化合物半導体は、いずれも、エピタキシャル成長可能である。上記のような材料からなる窒化物系化合物半導体単結晶層を、第1基板温度T_{SUB1}より高い約1100℃以上の第2基板温度T_{SUB2}においてエピタキシャル成長させる。第1基板温度T_{SUB1}において

バッファ層を成長し、その後、第2基板温度 T_{SUB2} まで徐々に上昇させながら反応容器に反応ガスを供給することによって、窒化物系化合物半導体単結晶層が形成される。

【0066】基板と窒化物系化合物半導体結晶層間にBN系化合物半導体からなるバッファ層が形成された窒化物系化合物半導体素子は、青色LEDとして良好な動作をする。図2～図5に示すこのようなLEDの構造例（構造例1乃至構造例4）を用いて本発明の実施の形態を説明する。

【0067】（構造例1）先ず、図2に示したように、本発明の構造例1に係るLEDは、サファイア基板11上にBN系化合物バッファ層24が形成されており、その上にn型窒化物系単結晶層（以下において「n型窒化物系結晶層」という。）34が形成されている。

【0068】BN系化合物バッファ層24は、BNとAlN, GaN, InNからなる化合物半導体の混晶、即ち、 $Ga_{1-x}B_xN$, $Al_{1-x}B_xN$, $In_{1-x}B_xN$, $Al_{1-y}Ga_y$, $(In_{1-y}Ga_y)_{1-x}B_xN$, $((In_{1-y}Ga_y)_{1-x}B_x)N$, $((Al_xGa_bIn_c)_{1-x}B_x)N$ 等からなり、約200～1100℃の第1基板温度 T_{SUB1} 、好ましくは500～600℃の基板温度 T_{SUB1} において約1～100nmの厚さ、好ましくは約10～60nmの厚さ、更に好ましくは20～30nmの厚さでエピタキシャル成長される。第1基板温度 T_{SUB1} においては、バッファ層24は非晶質構造や結晶粒界が小さい多結晶構造、或いは非晶質構造と多結晶構造とが混合した構造を有する。

【0069】n型窒化物系結晶層34は単結晶構造を有し、BN系化合物バッファ層24上に第1基板温度 T_{SUB1} より高い約1000℃以上の第2基板温度 T_{SUB2} において、GaN, AlN, $In_{1-x}Ga_xN$, $Al_{1-x}Ga_xN$, $AlIn_{1-x}Ga_xN$ 等のような窒化物系化合物半導体層をエピタキシャル成長する際にn型不純物元素をドーピングすることによって形成される。或いは、窒化物系化合物半導体層をエピタキシャル成長した後、n型不純物元素をドーピングすることによっても形成することが可能である。n型不純物元素のドーピングはC, Si, Ge, Se, S, Sn, Te, Be, O等の不純物元素を一般的なドーピング方法を用いてなされる。

【0070】n型窒化物系結晶層34上には窒化物系化合物半導体単結晶からなる活性層35が形成されている。活性層35は、故意には不純物がドーピングされていないGaN, AlN, $In_{1-x}Ga_xN$, $Al_{1-x}Ga_xN$, $AlIn_{1-x}Ga_xN$ 等のよ真性半導体をエピタキシャル成長することによって形成される。活性層35はLEDに所定の動作電圧が印加された場合、注入されたキャリアの遷移現象により発光する発光領域の一部を構成する。

【0071】活性層35は、エネルギーギャップが互いに異なる複数の層から形成されることもある。このような複数の層は量子井戸(QW)を形成するためのものであって、2層に形成することも出来、3層以上に形成することが出来る。活性層35に量子井戸(QW)を形成するためには、活性層35を構成する窒化物系化合物半導体層からなる複数の層の組成比を互いに異なるように構成すれば良い。例えば、 $Al_{1-x}Ga_xN$ をエピタキシャル成長し活性層35を形成する場合は、AlとGaの組成比、即ちx値が異なる複数の層を形成することによって量子井戸(QW)を形成することが出来る。このような量子井戸(QW)においては、量子井戸(QW)の低いエネルギー準位にキャリアがトラップされる。このため、動作電圧の印加時、バンド間遷移が円滑になって発光効率が大幅に増加する。更に、量子井戸(QW)を有する活性層35は互いに異なる化合物半導体からなる複数の層を形成することによって実現することも出来る。例えば、 $In_{1-x}Ga_xN/GaN$, $In_{1-x}Ga_xN/In_{1-y}Ga_yN$, $In_{1-x}Ga_xN/Al_{1-z}Ga_zN$ （ここにおいて、 $x \leq y$, $0 \leq x, y, z \leq 1$ ）等からなる複数の層もやはり量子井戸(QW)を有する活性層35として用いることが出来る。

【0072】この場合一つの層、例えば、GaN層のような特定の層を形成し、更にx値を変化させながら複数の $In_{1-x}Ga_xN$ 層を形成することが出来る。この場合、GaN層のエネルギー準位はポテンシャル障壁として作用し、複数の $In_{1-x}Ga_xN$ は多重量子井戸(MQW)を構成する。その結果、大部分のキャリアがこの多重量子井戸(MQW)にトラップされる。そして、エネルギーギャップが互いに異なる化合物半導体の混晶により、多重量子井戸(MQW)を構成する複数の層の少なくとも一つの層を形成することによって、その混晶の組成比によりエネルギー準位が異なるポテンシャルを形成することが出来る。

【0073】活性層35上にはp型窒化物系単結晶層（以下において「p型窒化物系結晶層」という。）36が形成される。このp型窒化物系結晶層36はn型窒化物系結晶層34と同じくGaN, AlN, $In_{1-x}Ga_xN$, $Al_{1-x}Ga_xN$, $AlIn_{1-x}Ga_xN$ 等のような窒化物系化合物半導体を活性層35上にエピタキシャル成長することによって形成され、p型不純物元素がドーピングされる。p型不純物元素としてはMg, Zn, Cd, Be, Ca, Sr, Ba等が用いられる。

【0074】n型窒化物系結晶層34、活性層35及びp型窒化物系結晶層36からなる積層構造は、この両端に動作電圧が印加されることによりキャリアが注入され、活性化するp-n接合構造を形成している。そして、p-n接合構造が、実際の光を発光する発光領域となる。

【0075】図2に示したように、n型窒化物系結晶層

23

34、活性層35及びp型窒化物系結晶層36からなる積層構造は、その一部に、n型窒化物系結晶層34が露出する凹部が設けられている。この凹部の底部において、n型窒化物系結晶層34は、更にその一部が取り除かれている。そして、凹部の底部に、導電性の良い金属からなる第1電極(n-電極)42が形成されている。更に、p型窒化物系結晶層36の上にも金属からなる第2電極(p-電極)41が形成されている。このn-電極42及びp-電極41を通じて、p-n接合構造に動作電圧が印加され、p-n接合界面の電位障壁を越えて

キャリアが注入されることにより、発光領域から光が発光し始める。
【0076】一般的にサファイア基板11は絶縁体である。従って、活性層35に動作電圧を印加するため、本発明の構造例1に係るLEDにおいては、n型窒化物系結晶層34の一侧の一部を取り除きその上にn-電極42を形成している。このような構造のLEDにおいて、n-電極42とp-電極41間に所定の電極に印加されれば、活性層35の全体に亘って、p型窒化物系結晶層36とn型窒化物系結晶層34間に電流が流れるようにな

って、結局活性層35から光が発光される。
【0077】n-電極42及びp-電極41は導電性の良い金属を用い、その種類は一般的に電極と接触されるn型窒化物系結晶層34とp型窒化物系結晶層36により異なる。n-電極42及びp-電極41を形成する方法は、一般的な金属の堆積方法、例えば、真空蒸着法やスパッタリング法を用いることが出来る。

【0078】(構造例2) 図3に示した本発明の構造例2に係るLEDの構造は、図2に示したLEDとは基本的に同一な構造である。但し、図2に示したようなLEDの構造とは、第1電極(n-電極)42a、42bの形成位置が異なる。図3に示したようなLEDの構造を採用する理由は、サファイア基板11が絶縁体であるからである。従って、図2及び図3に示したLEDのn-電極42、42a、42b及び第2電極(p-電極)41はすべて、それぞれn型窒化物系結晶層34とp型窒化物系結晶層36上に直接オーミック接触するように形成されている。特に、動作電圧の印加時に、電流が活性層35の全領域を経て流れるようにするため、n型窒化物系結晶層34、活性層35及びp型窒化物系結晶層36からなる積層構造のその両側の一部を取り除き凹部を形成し、凹部の底部のn型窒化物系結晶層34にn-電極42a、42bが形成されている。n-電極42a、42bは独立した複数の領域として形成しても良く、中央部のn型窒化物系結晶層34、活性層35及びp型窒化物系結晶層36からなる積層構造の凸部を囲むリングとして一体の電極として形成しても良い。即ち、図3に示した断面図では見かけ上2つの断面42a、42bが示されているが、実際は連続した電極として構成しても

24

【0079】(構造例3) 図4に示した本発明の構造例3に係るLEDの構造は、図2に示したようなLEDとは基本的に同一な構造である。但し、図2に示したようなLEDの構造とは、第1電極(n-電極)42及び第2電極(p-電極)41a、41bの形成位置が異なる。即ち、n型窒化物系結晶層34、活性層(35a、35b)及びp型窒化物系結晶層(36a、36b)からなる積層構造の中央部近傍の一部を取り除き凹部を形成し、凹部の底部のn型窒化物系結晶層34にn-電極42が形成されている。中央部凹部により、本発明の構造例3に係るLEDは見かけ上、2つの活性層35a及び35b、2つのp型窒化物系結晶層36a及び36bが断面上に現れている。しかし、これらの活性層35a、35b及びp型窒化物系結晶層36a、36bは、中央部の凹部を囲むリング形状に一体の積層構造として形成しても良い。従って、p型窒化物系結晶層36a、36bにオーミック接触するように接続されるp-電極41a、41bも、図4の断面図では見かけ上2つの断面41a、41bが示されているが、実際は連続した単一のリング状電極として構成しても良い。

【0080】図4に示したようなLEDの構造を採用する理由は、前述したように、サファイア基板11が絶縁体であるからである。従って、図2～図4に示したようなLEDのn-電極42、42a、42b及びp-電極41、41a、41bはすべて、それぞれn型窒化物系結晶層34とp型窒化物系結晶層36上に直接オーミック接触するように形成されている。

【0081】図4に示した本発明の構造例3によれば、n-電極42及びp-電極41a、41b間に動作電圧の印加時に、電流が活性層(35a、35b)の全領域をほぼ均一に流れるようになる。

【0082】(構造例4) 図5には、本発明の構造例4に係るLEDの構造を示す。本発明の構造例4に係るLEDは、低比抵抗の炭化珪素(SiC)基板を使用したLEDである。SiCは半導体であるから、不純物をドーピングすることにより比抵抗を調整出来る。従って、十分に高不純物密度となるように、不純物をドーピングし、低比抵抗基板12とし、この低比抵抗基板12を介して、電極51及び52(第1電極51及び第2電極52)間に動作電圧を印加出来る。第1電極51及び第2電極52間に動作電圧が印加されれば、低抵抗で第1電極51及び第2電極52間に電流が流れる。従って、図5に示したように、本発明の構造例4に係るLEDにおいては、第1電極51をSiC基板12の下面に形成することが出来る。

【0083】図5に示す本発明の構造例4に係るLEDの構造の長所は、LEDの発光領域の面積を、SiC基板12の面積と同一に形成することが可能であることである。そして、第1電極51及び第2電極52間に動作電圧が印加されれば、電流が発光領域となる窒化物単結

晶層35の全体に、均一に流れるために発光効率が大幅に向上される。

【0084】炭化珪素(SiC)基板上にも図2~図4に示したようなLEDと同一なバッファ層25が形成され、その上に窒化物系単結晶層37が形成されている。窒化物系単結晶層37は、詳細な構造の図示を省略しているが、p型窒化物系単結晶層、真性窒化物系単結晶層(活性層)及びn型窒化物系単結晶層からなる多層構造である。バッファ層25はBN系化合物半導体からなる非単結晶層である。バッファ層25は、炭化珪素(SiC)基板12と窒化物系単結晶層37間に格子不整合が生じることを防ぐことによって、窒化物系単結晶層の結晶性を向上させる。

【0085】窒化物系単結晶層37において、p型窒化物系単結晶層が下、n型窒化物系単結晶層が上ならば、電極(第1電極)51は、p-電極、電極(第2電極)52はn-電極となる。逆にp型窒化物系単結晶層が上、n型窒化物系単結晶層が下ならば、第1電極51は、n-電極、第2電極52はp-電極となることは勿論である。但し、どちらを第1電極とし、どちらを第2電極と呼ぶかは単なる呼び方の問題にすぎない。

【0086】(その他の実施の形態)上記のように、本発明は構造例1乃至4を用いて具体的に記載したが、この開示の一部をなす論述及び図面はこの発明を限定するものであると理解すべきではない。この開示から当業者には様々な代替実施の形態、実施例及び運用技術が明らかとなろう。

【0087】本発明の窒化物系化合物半導体素子は窒化物系化合物半導体からなる一般的な半導体発光素子に適用することが出来る。上記の構造例1乃至4において説明したLEDのみならず、半導体レーザ、発光トランジスタ、光集積回路等のように、格子定数の異なる基板上に窒化物系化合物半導体からなるp-n接合構造が形成された半導体素子はすべて、本発明の概念を利用すれば更に効率の良い半導体素子を容易に製造することが出来る。

【0088】更に本発明の窒化物系化合物半導体の結晶成長方法は、特定の半導体素子に限るものではない。本発明は格子定数が異なる材料(第1固体材料)からなる基板上に窒化物系化合物半導体(第2固体材料)をエピタキシャル成長させる方法に関するものであって、特定の半導体素子における結晶成長方法にだけ限られるものではないからである。

【0089】このように、本発明はここでは記載していない様々な実施の形態等を含むことは勿論である。従って、本発明の技術的範囲は上記の説明から妥当な特許請求の範囲に係る発明特定事項によってのみ定められるものである。

【0090】

【発明の効果】本発明は上記の通り、サファイア基板や炭化珪素(SiC)基板のような格子定数が異なる材料(第1固体材料)からなる基板上にBN系化合物バッファ層を形成しているため、窒化物系化合物半導体単結晶層(第2固体材料)をエピタキシャル成長する場合、基板と窒化物系バッファ層間の格子不整合を緩和し、窒化物系化合物半導体単結晶層(第2固体材料)の結晶性を向上させることが出来る。

【0091】更に、本発明によれば、結晶性の向上によりLEDのような半導体発光素子を製造したとき、発光特性及び電気的特性が向上する。

【0092】更に、本発明によれば、窒化物系化合物半導体単結晶層の結晶性が向上するので、信頼性、及び動作寿命が大幅に増加する。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施の形態に係る窒化物系化合物半導体素子の構造を示す断面図である。

【図2】本発明の実施の形態の構造例(構造例1)に係る青色LEDの構造を示す断面図である。

【図3】本発明の実施の形態の構造例(構造例2)に係る青色LEDの構造を示す断面図である。

【図4】本発明の実施の形態の構造例(構造例3)に係る青色LEDの構造を示す断面図である。

【図5】本発明の実施の形態の構造例(構造例4)に係る青色LEDの構造を示す断面図である。

【図6】発明の実施の形態に係る窒化物系化合物半導体単結晶層の特性を示すグラフである。

【図7】発明の実施の形態に係る窒化物系化合物半導体単結晶層の特性を示すグラフである。

【図8】種々の窒化物系化合物半導体及びサファイアの格子定数とエネルギーギャップとの関係を示すグラフである。

【図9】従来の窒化物系化合物半導体素子の構造を示す断面図である。

【符号の説明】

11 サファイア基板

21 GaAlNバッファ層

22 GaNバッファ層

23 GaBNバッファ層

24 BN系化合物バッファ層

31, 32 $Ga_xAl_{1-x}N$ 結晶層

33 GaN結晶

34 n型窒化物系結晶層

35, 35a, 35b 活性層

36, 36a, 36b p型窒化物系結晶層

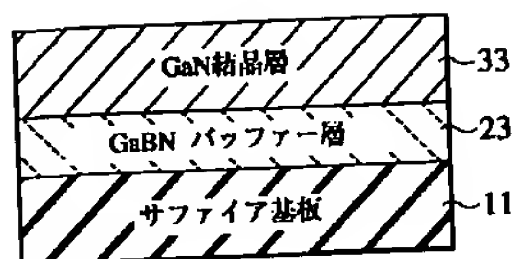
37 窒化物系単結晶層

41, 41a, 41b p-電極

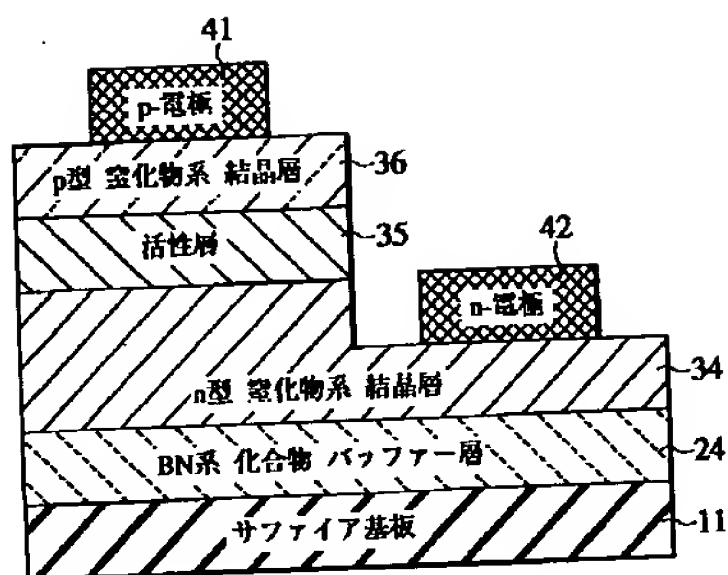
42, 42a, 42b n-電極

51, 52 電極

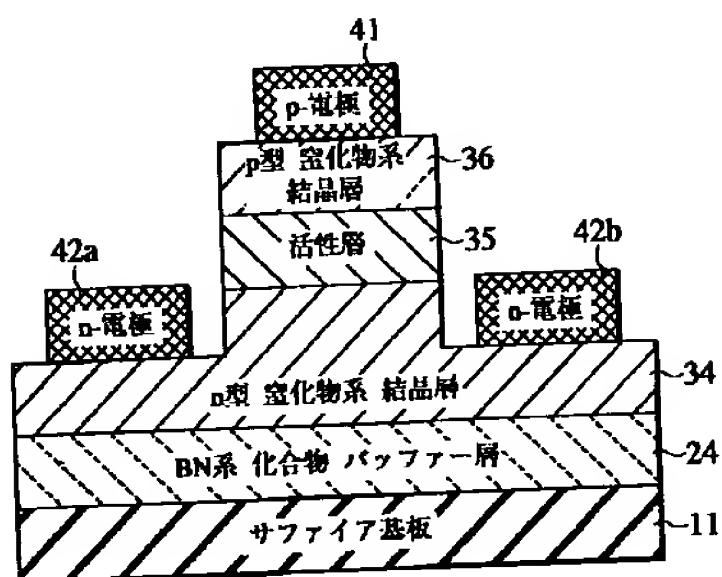
【図1】



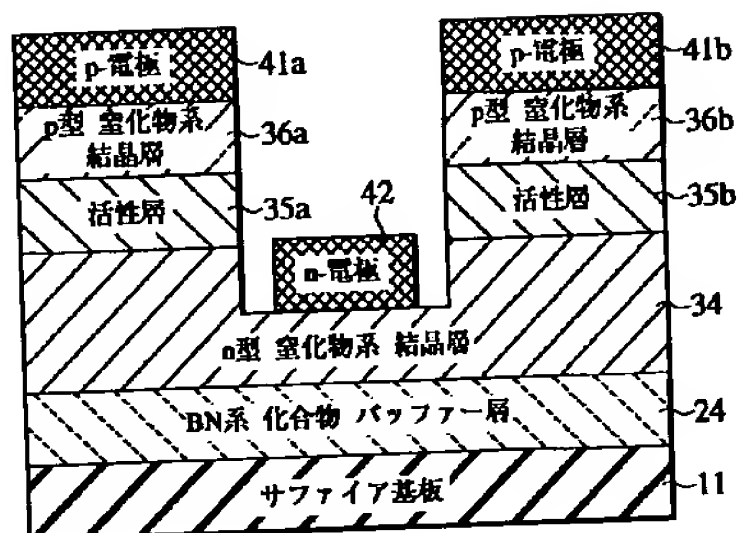
【図2】



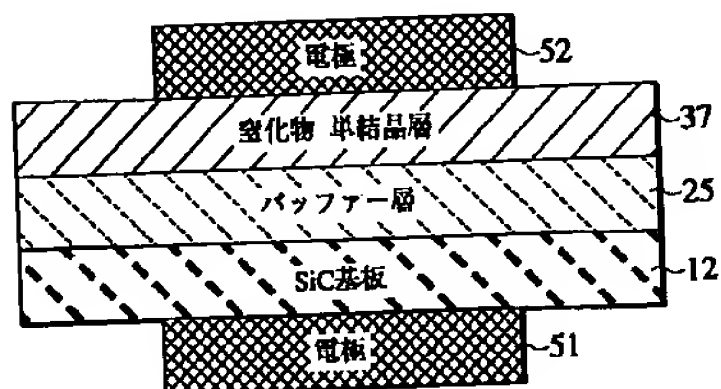
【図3】



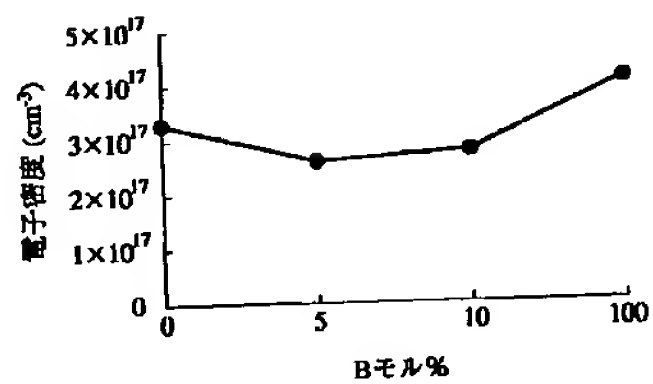
【図4】



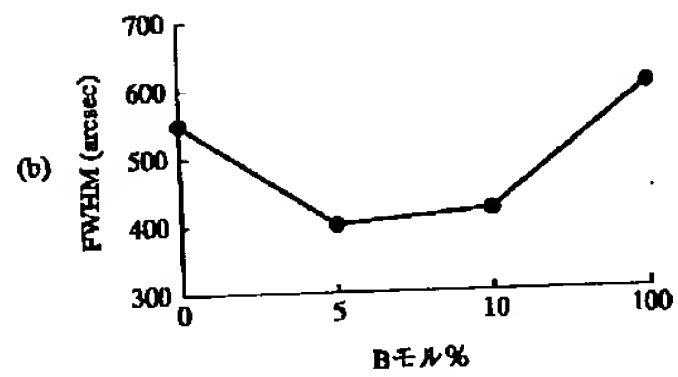
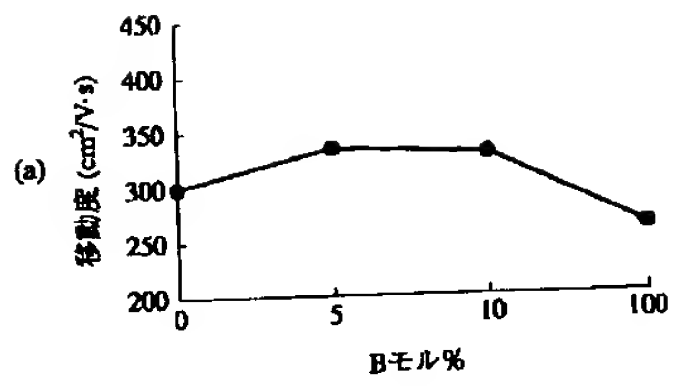
【図5】



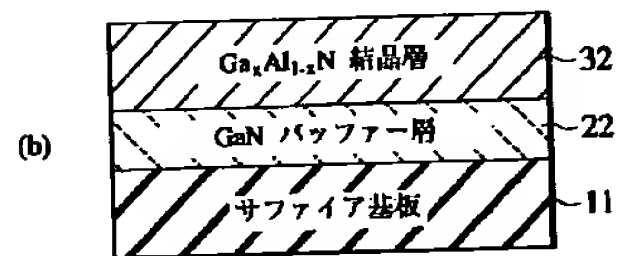
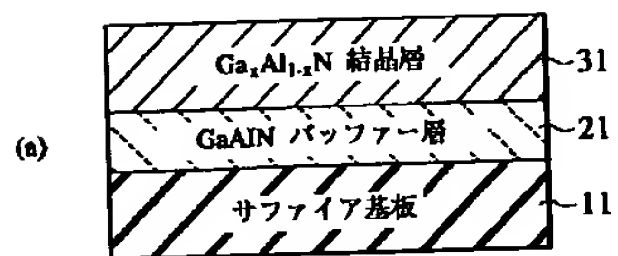
【図7】



【図6】



【図9】



【図8】

